

# Analisa Kinerja Alamouti Codes pada sistem Successive Interference Cancellation (SIC) Multiuser Detection (MUD) Code Division Multiple Access (CDMA) dengan Modulasi Binary Phase Shift Keying (BPSK) Berbasis Perangkat Lunak

Asri Dewayanti, Yoedy Moegiharto

Jurusan Teknik Telekomunikasi - Politeknik Elektronika Negeri Surabaya

Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya

Kampus PENS-ITS, Keputih, Sukolilo, Surabaya.

Telp : +62+031+5947280; Fax. +62+031+5946011

Email : [asri.dewayanti@yahoo.com](mailto:asri.dewayanti@yahoo.com)

## ABSTRAK

Pada proyek akhir ini dilakukan analisa kinerja *Alamouti code* pada sistem *successive interference cancellation (SIC) Multiuser Detection (MUD) CDMA* dengan modulasi BPSK. Kinerja dari sistem berupa kurva nilai BER sebagai fungsi  $E_b/N_0$ .

Dari hasil simulasi menunjukkan kinerja *Alamouti code* 2Tx-2Rx lebih baik 3,337 dB daripada 2Tx-1Rx, dan 2Tx-1Rx lebih baik 7,75 dB dibandingkan tanpa *Alamouti code* pada SIC. Untuk *Alamouti code* 2Tx-2Rx stage 3 memiliki kinerja sistem lebih baik 7,637 dB daripada stage 1 dan untuk *Alamouti code* 2Tx-1Rx stage 3 kinerja sistemnya lebih baik 7,779 dB dibandingkan stage 1. *Alamouti code* 2Tx-2Rx dengan 4 pengguna lebih baik 8,894 dB dibandingkan 20 pengguna dan 2Tx-1Rx dengan 4 pengguna lebih baik 9,143 dB dibandingkan 20 pengguna. *Alamouti code* 2Tx-2Rx dengan chip 127 lebih baik 4,695 dB dibandingkan chip 31 dan *Alamouti code* 2Tx-1Rx pada SIC dengan chip 127 lebih baik 5,53 dB dibandingkan chip 31.

Kata kunci : *successive interference cancellation, alamouti code, BER, CDMA*

## 1. PENDAHULUAN

CDMA adalah teknik akses jamak berdasarkan teknik komunikasi *spread spectrum*, pada kanal frekuensi yang sama dalam waktu yang sama digunakan kode – kode yang unik untuk mengidentifikasi masing – masing pengguna. Karena menggunakan kanal frekuensi dan waktu yang sama, maka pengguna lain dapat menyebabkan interferensi pada pengguna tertentu yang disebut dengan MAI (*Multiple Access Interference*). Untuk mengurangi atau memperkecil pengaruh MAI maka diterapkan sistem *multiuser detection* salah satunya adalah *successive interference cancellation (SIC)*.

Pada sistem komunikasi bergerak atau wireless yang menggunakan media transmisi udara, terdapat fenomena *multipath fading* dapat menurunkan kinerja suatu sistem. *Multipath fading* adalah fenomena sinyal datang/sinyal yang dipancarkan

dapat mengalami pelemahan, kerusakan, waktu tunda dan memiliki fase yang berbeda atau bahkan berlawanan sama sekali dikarenakan adanya penghalang-penghalang seperti gunung maupun gedung atau obyek lain yang menyebabkan distorsi sehingga menimbulkan kesalahan-kesalahan pendeteksian sinyal pada penerima. Untuk mengatasi akibat buruk dari adanya *multipath fading* dapat digunakan teknik *Alamouti code*.

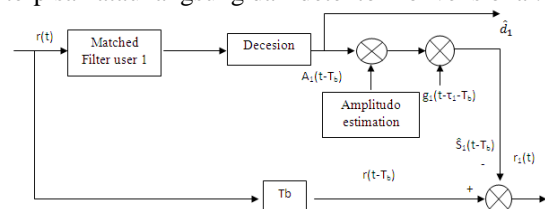
## 2. TEORI PENUNJANG

### 2.1. Multiuser Detection

*Multi user detection* adalah suatu teknik yang mengasumsikan daya yang diterima dari semua pengguna adalah tetap, sekaligus mendemodulasikan semua sinyal yang diterima dari semua pengguna secara bersamaan. Dalam proyek akhir ini akan dilakukan analisa pada sub optimal *multi user detector* yang bersifat non linier yaitu *Successive Interference Cancellation*.

### 2.2. Successive Interference Cancellation

*Successive Interference Cancellation (SIC)* adalah detektor yang mendeteksi user secara serempak. SIC beroperasi secara sederhana mengurangi pertambahan dari MAI dengan pengurangan kekuatan sinyal dari user. Cara kerja dari SIC yaitu membatalkan sinyal interferensi dengan daya terkuat terlebih dahulu atau yang paling dianggap mengganggu, lalu diikuti oleh sinyal dengan daya terkuat selanjutnya, dan seterusnya sampai diperoleh bentuk sinyal yang diinginkan. SIC awalnya memberi peringkat dahulu terhadap kekuatan dari sinyal tersebut sebelum dibatalkan, yang diperoleh dengan estimasi kanal terpisah atau langsung dari detektor konvensional.



**Gambar 1.** Blok SIC Detektor untuk Pengguna ke-1<sup>[4]</sup>

Sinyal yang diterima berdasarkan gambar 1. dapat ditulis:

$$r(t) = \sum_{k=1}^K A_k(t)g_k(t - \tau_k).d_k(t - \tau_k) + n(t) \quad (1)$$

Dimana :

$r(t)$  = Sinyal yang diterima  
 $k$  = pengguna  
 $A_k$  = Deretan amplitudo  
 $g_k$  = Deretan Chip (*Spread Chip Sequence*)  
 $dk$  = data modulasi  
 $\tau_k$  = *Delay* untuk pengguna  $k$   
 $n(t)$  = *Noise* AWGN (*Additive White Gaussian Noise*)

Pada langkah yang terakhir, setelah pengguna ke- $k$  terdeteksi dan dicancel, maka akan didapatkan sinyal yang dirumuskan sebagai berikut :

$$r_k(t) = r(t) - \sum_{j=k} A_j \hat{b}_j s_j \quad (2)$$

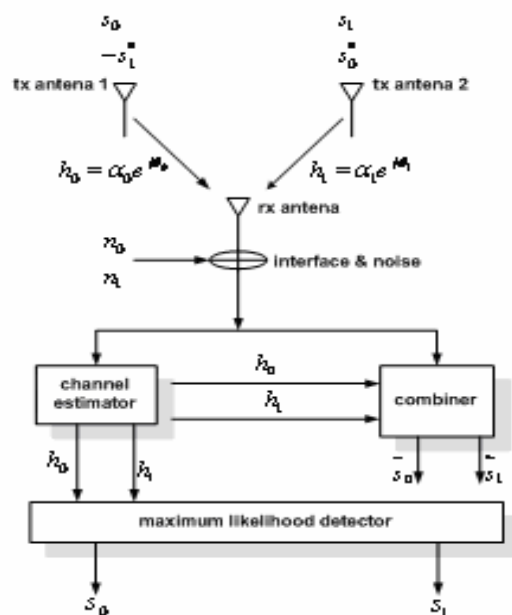
## 2.3. Alamouti Code

### 2.3.1. Dua pemancar, Satu Penerima

Teknik Alamouti adalah merupakan teknik diversitas yang dikembangkan pada sisi pemancar. Sistem ini menggunakan 2 buah antenna pemancar dengan 1 buah antenna penerima. Sebelum dipancarkan, sinyal dikodekan terlebih dahulu dengan menggunakan *Alamouti code*<sup>[7]</sup>. Sistem ini data mengirimkan 2 simbol yang berbeda dalam satu waktu. Diasumsikan bahwa  $s_0$  dan  $s_1$  adalah simbol yang telah dimodulasi oleh PSK modulator. Pada waktu pertama ( $t$ ) antenna ke-1 mengirimkan sinyal berupa simbol  $s_0$  dan antenna ke-2 mengirimkan sinyal berupa simbol  $s_1$ . Kemudian pada waktu kedua ( $t+T$ ) simbol dari masing-masing antenna pemancar tersebut dikonjugat sehingga menjadi simbol  $-s_1^*$  pada antenna ke-1 dan simbol  $s_0^*$  pada antenna ke-2, seperti ditunjukkan pada tabel 1 berikut

**Tabel 1.** Simbol *complex conjugate*

Time	antena 1	antena 2
T	$s_0$	$s_1$
$t+T$	$-s_1^*$	$s_0^*$



**Gambar 2.** Rancangan Alamouti menggunakan 2 antenna pemancar dengan 1 antenna penerima<sup>[4]</sup>

Kanal pada time  $t$  terbentuk oleh *complex multiplicative distortion* (penyimpangan distorsi)  $h_0(t)$  pada antenna pemancar 1 dan  $h_1(t)$  pada antenna pemancar 2. Bila diumpamakan 2 simbol tersebut memiliki *fading* (pelemahan daya sinyal yang diterima) yang konstan maka dapat dituliskan sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 h_0(t) &= h_0(t+T) = h_0 = \alpha_0 e^{j\theta_0} \\
 h_1(t) &= h_1(t+T) = h_1 = \alpha_1 e^{j\theta_1}
 \end{aligned} \quad (3)$$

dimana  $T$  adalah simbol dari periode. Kemudian sinyal pada antenna penerima dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 r_0 &= r(t) = h_0 s_0 + h_1 s_1 + n_0 \\
 r_1 &= r(t+T) = -h_0 s_1^* + h_1 s_0^* + n_1
 \end{aligned} \quad (4)$$

dimana  $r_0$  dan  $r_1$  adalah sinyal yang diterima pada antenna penerima waktu  $t$  dan  $t+T$  dan  $n_0$  dan  $n_1$  adalah simbol dari *noise* dan interferensi.

### Rancangan Combiner (*combiner scheme*)

Sinyal – sinyal yang diterima pada antenna penerima akan masuk ke alat yang disebut *combiner*, dimana terdapat kanal estimasi. Sehingga sinyal menjadi :

$$\begin{aligned}
 \tilde{s}_0 &= h_0^* r_0 + h_1 r_1^* \\
 \tilde{s}_1 &= h_1^* r_0 - h_0 r_1^*
 \end{aligned} \quad (5)$$

Dengan mensubstitusi persamaan (3),(4), dan (5) maka didapatkan bentuk sinyal sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \tilde{s}_0 &= (\alpha_0^2 + \alpha_1^2) s_0 + h_0^* n_0 + h_1 n_1^* \\
 \tilde{s}_1 &= (\alpha_0^2 + \alpha_1^2) s_1 - h_0 n_1^* + h_1^* n_0
 \end{aligned} \quad (6)$$

### Maximum Likelihood Detector

Sinyal dari *combiner* akan masuk ke *Maximum Likelihood Detector* untuk melakukan keputusan, dimana diharapkan sinyal yang didapatkan adalah sama dengan sinyal input, yaitu  $s_0$  dan  $s_1$ . Sehingga apabila sinyal yang didapat mendekati sinyal aslinya maka dianggap tidak terjadi kesalahan. Pada *Maximum Likelihood Detector* berlaku rumus sebagai berikut :

$$\sum_{j=1}^m (|r_0^j - \alpha_{0,j} s_0 - \alpha_{1,j} s_1|^2 + |r_1^j + \alpha_{0,j} s_1^* - \alpha_{1,j} s_0^*|^2) \quad (7)$$

Untuk  $s_0$  didapatkan persamaan dengan memilih  $s_i$  (sinyal input) pada sinyal PSK (*Phase Shift Keying*)

$$\begin{aligned}
 (\alpha_0^2 + \alpha_1^2 - 1) |s_i|^2 + d^2(\tilde{s}_0, s_i) &\leq \\
 (\alpha_0^2 + \alpha_1^2 - 1) |s_k|^2 + d^2(\tilde{s}_0, s_k) &
 \end{aligned} \quad (8)$$

Untuk sinyal PSK

$$|s_i|^2 = |s_k|^2 = E_s \quad (9)$$

Dimana persamaan  $E_s$  adalah merupakan energi sinyal. Sehingga didapatkan persamaan :

$$d^2(\tilde{s}_0, \tilde{s}_i) \leq d^2(\tilde{s}_0, \tilde{s}_k) \quad (10)$$

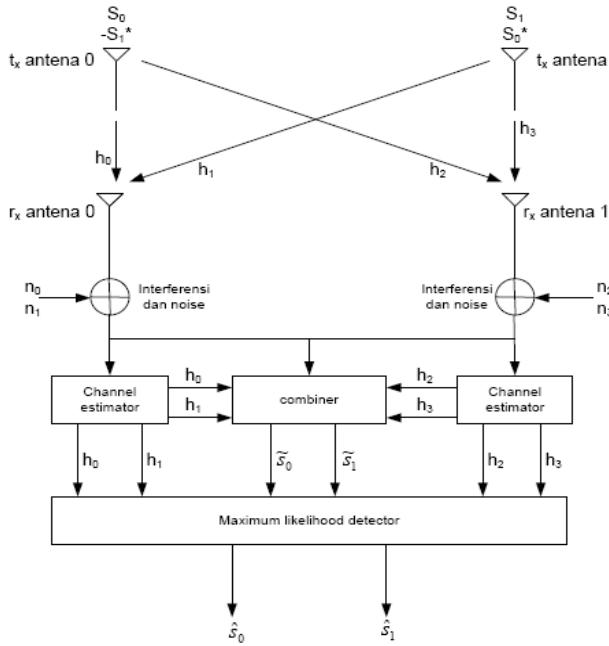
Hal tersebut berarti apabila nilai  $s_i$  (sinyal *input*) kurang dari atau sama dengan  $s_k$  (sinyal yang diterima) maka dianggap tidak terjadi kesalahan sehingga sinyal yang dikeluarkan adalah  $\tilde{s}_0$ . Demikian juga untuk sinyal  $s_1$ , dengan memilih  $s_i$  sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$(\alpha_0^2 + \alpha_1^2 - 1)|s_i|^2 + d^2(\tilde{s}_i, s_i) \leq (\alpha_0^2 + \alpha_1^2 - 1)|s_k|^2 + d^2(\tilde{s}_i, s_k) \quad (10)$$

Untuk sinyal PSK diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$d^2(\tilde{s}_i, \tilde{s}_i) \leq d^2(\tilde{s}_i, \tilde{s}_k) \quad (11)$$

### 2.3.2. Dua Pemancar, Dua Penerima



**Gambar 3.** Skema transmisi dengan 2 antenna pengirim dan 2 antenna penerima<sup>[4]</sup>

Pada saat  $t$ ,  $T_{x0}$  memancarkan sinyal  $s_0$  dan  $T_{x1}$  memancarkan sinyal  $s_1$ , kemudian saat  $t+1$ ,  $T_{x0}$  memancarkan sinyal  $-s_1^*$  dan  $T_{x1}$  memancarkan sinyal  $s_0^*$ . Tanda \* merupakan operasi konjugat. Pada proses *encoding* sinyal yang dipancarkan dipengaruhi *fading*. Kemudian diterima oleh antenna penerima dimana sinyal yang diterima tersebut juga dipengaruhi oleh *noise*. Sinyal yang diterima oleh antenna penerima kemudian masuk kedalam *combiner* dimana di dalamnya terdapat kanal *estimate* yang fungsinya adalah untuk mengestimasi sinyal yang diterima. Setelah mengalami estimasi kemudian sinyal tersebut masuk ke dalam blok *Maximum Likelihood Detector* untuk melakukan proses pengambilan keputusan. Pada antenna penerima  $r_{x0}$  persamaan sinyal yang diterima adalah

$$\begin{aligned} r_0 &= h_0 s_0 + h_1 s_1 + n_0 \\ r_1 &= -h_0 s_1^* + h_1 s_0^* + n_1 \end{aligned} \quad (12)$$

Sedangkan pada antenna  $r_{x1}$  adalah

$$\begin{aligned} r_2 &= h_2 s_0 + h_3 s_1 + n_2 \\ r_3 &= -h_2 s_1^* + h_3 s_0^* + n_3 \end{aligned} \quad (13)$$

Sinyal – sinyal yang diterima pada antenna penerima akan masuk ke alat yang disebut *combiner*, dimana terdapat kanal *estimate*. Sehingga sinyal menjadi :

$$\begin{aligned} \tilde{s}_0 &= h_0^* r_0 + h_1 r_1^* + h_2^* r_2 + h_3 r_3^* \\ \tilde{s}_1 &= h_1^* r_0 - h_0 r_1^* + h_3^* r_2 - h_2 r_3^* \end{aligned} \quad (14)$$

Persamaan (12) dan (13) didistribusikan ke persamaan (14) sehingga diperoleh :

$$\begin{aligned} \tilde{s}_0 &= (\alpha_0^2 + \alpha_1^2 + \alpha_2^2 + \alpha_3^2) s_0 + h_0^* n_0 + h_1 n_1^* + h_2^* n_2 + h_3 n_3^* \\ \tilde{s}_1 &= (\alpha_0^2 + \alpha_1^2 + \alpha_2^2 + \alpha_3^2) s_1 - h_0 n_1^* + h_1^* n_0 - h_2 n_3^* + h_3^* n_2 \end{aligned} \quad (15)$$

#### Maximum Likelihood Detector

Sinyal dari *combiner* akan masuk ke *Maximum Likelihood detector* untuk melakukan keputusan, dimana diharapkan sinyal yang didapatkan adalah sama dengan sinyal input, yaitu  $s_0$  dan  $s_1$ . Sehingga apabila sinyal yang didapat mendekati sinyal aslinya maka dianggap tidak terjadi kesalahan. Sinyal-sinyal  $s_0$  dan  $s_1$  yang didapat dari blok *combiner* kemudian dilewatkan ke *maximum likelihood detector* yang kemudian menentukan simbol apakah yang sesungguhnya dikirimkan.

Pada *Maximum Likelihood Detector* berlaku rumus sebagai berikut :

$$\sum_{j=1}^m (|r_0^j - \alpha_{0,j} s_0 - \alpha_{1,j} s_1| + |r_1^j + \alpha_{0,j} s_1^* - \alpha_{0,j} s_0^*| + |r_2^j - \alpha_{0,j} s_0 - \alpha_{1,j} s_1| + |r_3^j + \alpha_{0,j} s_1^* - \alpha_{0,j} s_0^*|) \quad (16)$$

Untuk  $s_0$  didapatkan persamaan dengan memilih  $s_i$  (sinyal input) pada sinyal PSK (*Phase Shift Keying*)

$$(\alpha_0^2 + \alpha_1^2 + \alpha_2^2 + \alpha_3^2 - 1)|s_i|^2 + d^2(\tilde{s}_0, s_i) \leq (\alpha_0^2 + \alpha_1^2 + \alpha_2^2 + \alpha_3^2 - 1)|s_k|^2 + d^2(\tilde{s}_0, s_k) \quad (17)$$

Untuk sinyal PSK

$$|s_i|^2 = |s_k|^2 = E_s \quad (18)$$

Dimana persamaan  $E_s$  adalah merupakan energi sinyal. Sehingga didapatkan persamaan :

$$d^2(\tilde{s}_0, \tilde{s}_i) \leq d^2(\tilde{s}_0, \tilde{s}_k) \quad (19)$$

Hal tersebut berarti apabila nilai  $s_i$  (sinyal input) kurang dari atau sama dengan  $s_k$  (sinyal yang diterima) maka dianggap tidak terjadi kesalahan sehingga sinyal yang dikeluarkan adalah  $\tilde{s}_0$ . Demikian juga untuk sinyal  $s_1$ , dengan memilih  $s_i$  sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut :

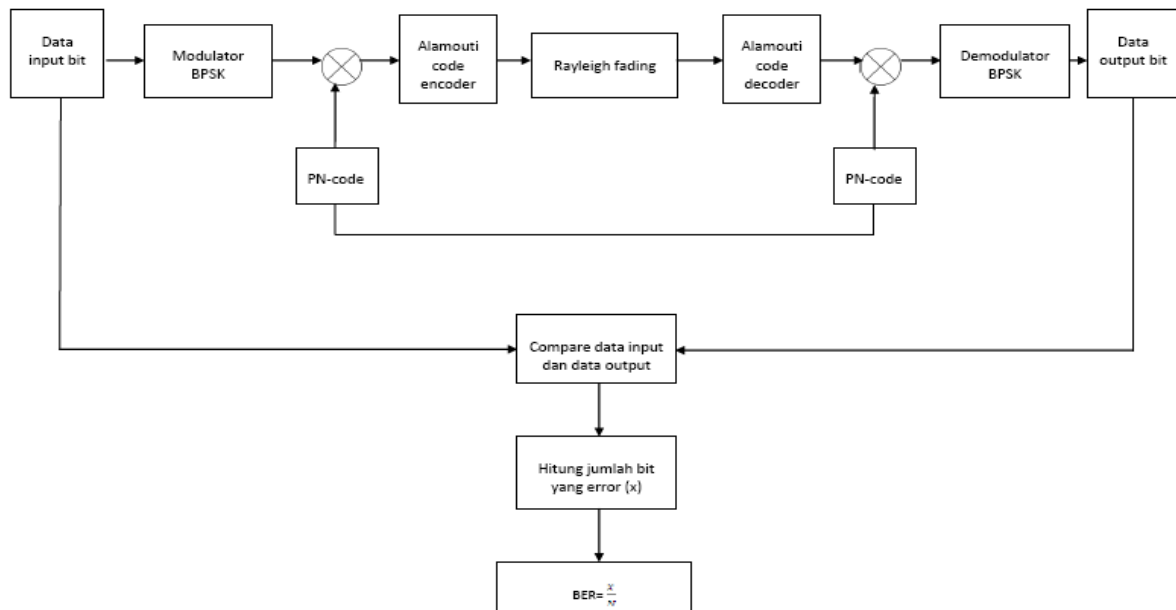
$$(\alpha_0^2 + \alpha_1^2 + \alpha_2^2 + \alpha_3^2 - 1)|s_i|^2 + d^2(\tilde{s}_1, s_i) \leq (\alpha_0^2 + \alpha_1^2 + \alpha_2^2 + \alpha_3^2 - 1)|s_k|^2 + d^2(\tilde{s}_1, s_k) \quad (20)$$

Untuk sinyal PSK diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$d^2(\tilde{s}_1, \tilde{s}_i) \leq d^2(\tilde{s}_1, \tilde{s}_k) \quad (21)$$

### 3. METODOLOGI

#### 3.1 Perancangan Sistem



Gambar 4. Rancangan Simulasi

Pada proyek akhir ini dibahas kinerja *Alamouti code* pada SIC untuk mengatasi efek *multipath fading* pada sistem *Successive Interference Cancellation* untuk mengatasi adanya interferensi oleh pengguna lain yang disebut dengan *Multiple Access Interference* (MAI). Untuk menentukan kinerja tersebut ditunjukkan dengan nilai probabilitas kesalahan bit/ *Bit Error Rate* (BER) sebagai fungsi  $E_b/N_0$ . Dari Gambar 4 dapat dijelaskan sistem kerja dari *Alamouti code* pada SIC adalah sebagai berikut :

1. Data yang dibangkitkan secara acak sebagai data masukan (*input*). Bit data ini dalam bentuk *binary*.
2. Bit informasi dimodulasi dengan BPSK.
3. Proses *spreading* menggunakan perkalian X-OR antara data informasi (sinyal) dengan PN code (*goldcode*) dengan memakai *goldcode* 31 dan 127. Misal pengguna sama dengan 5, dan bila menggunakan *goldcode* 31 maka jumlah *chip* 31 untuk pengguna. Begitu juga untuk *goldcode* 127. Sehingga matrixnya [5][31] atau [5][127] sehingga untuk tiap pengguna didapatkan matrix [1][31]. Sama halnya untuk *goldcode* 127.
4. Bit tersebut sebelum dipancarkan, sinyal dikodekan terlebih dahulu dengan mengirimkan 2 simbol ( $s_0$  dan  $s_1$ ) yang berbeda dalam satu waktu. Pada waktu pertama ( $t$ ) antenna ke-1 mengirimkan sinyal berupa simbol  $s_0$  dan antenna ke-2 mengirimkan sinyal berupa simbol  $s_1$ . Kemudian pada waktu kedua ( $t+T$ ) simbol dari masing-masing antenna pemancar tersebut dikonjugat sehingga mejadi simbol  $-s_1^*$  pada antenna ke-1 dan simbol  $s_0^*$  pada antenna ke-2
5. Simbol dipancarkan melalui antenna pemancar yang terdapat *noise* dan *multipath fading*.
6. Sinyal yang diterima akan diproses melalui *combiner* dan *maximum likelihood detector*.
7. Sinyal yang diterima dari *maximum likelihood detector* diproses dengan *despreading* dan melakukan metode *successive interference cancellation* untuk mengurangi MAI.
8. Proses *despreading* dilakukan dengan mengalikan dengan PN code yang sama seperti pada PN code pada sisi pengirim. Hasil pengkalian tersebut akan diperoleh urutan sinyal informasi dalam bentuk bit.
9. Setelah proses *despreading* kemudian dilakukan proses *decision* bit, untuk memutuskan bit itu 1 atau -1. Kemudian sebelum proses SIC dengan dilakukan *re-spread* kembali karena proses *cancellation* yang dilakukan dalam bentuk *chip*. Pada simulasi ini dilakukan pengamatan sampai pada *stage* ke 3.
10. Proses demodulasi BPSK pada penerima dilakukan untuk memperoleh kembali bit-bit informasi yang sebelumnya telah dimodulasi pada sisi pemancar.
11. Penentuan informasi bit yang diterima.
12. Pendeteksian tingkat kesalahan selama proses pengiriman dengan melihat BER (*Bit Error Rate*) yang timbul

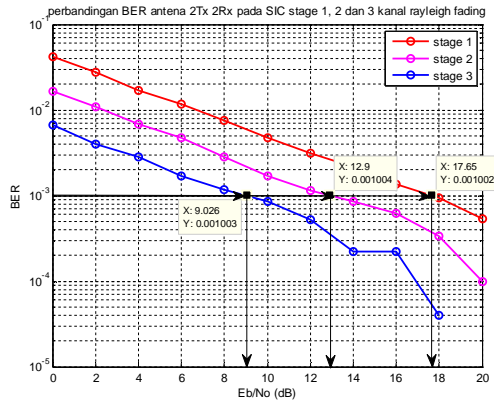
#### 4. PENGUJIAN DAN ANALISA HASIL

##### 4.1 Kinerja Alamouti code pada Successive Interference Cancellation (SIC) dengan Stage 1,2 dan 3

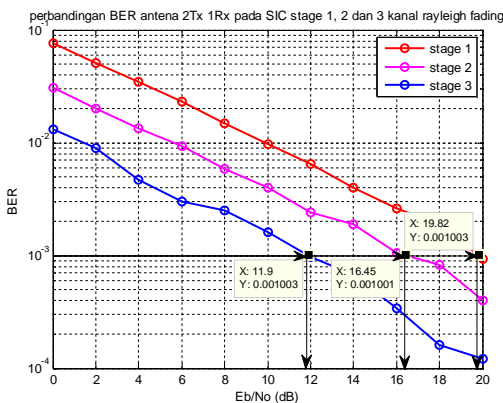
Simulasi ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari SIC pada sistem *Alamouti code*. Data

BER yang diambil dalam simulasi adalah sistem *Alamouti code* pada SIC dengan jumlah pengguna sebanyak 10 untuk nilai  $E_b/N_0$  0 sampai 20 dB. Hasil simulasi hanya dilakukan 3 *stage* *cancellation*.

Dari gambar 5 diketahui nilai  $E_b/N_0$  untuk *stage* 1, *stage* 2 dan *stage* 3 dari *Alamouti code* 2Tx-2Rx pada SIC ketika nilai BER  $10^{-3}$  adalah  $E_b/N_0$  sebesar 17.65dB, 12.9 dB dan 9.026 dB. Dari nilai  $E_b/N_0$  terlihat bahwa *stage* 3 kinerjanya lebih baik 8.624 dB dibandingkan *stage* 1.



**Gambar 5.** Perbandingan BER Alamouti code 2Tx-2Rx pada SIC *stage* 1,2 dan 3 kanal Rayleigh fading



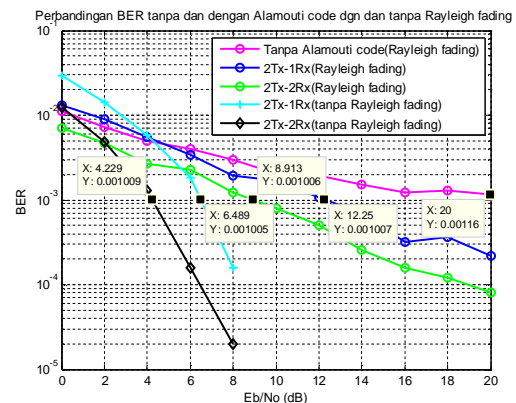
**Gambar 6.** Perbandingan BER Alamouti code 2Tx-1Rx pada SIC *stage* 1,2 dan 3 kanal Rayleigh fading

Dari Gambar 6 dapat diketahui nilai  $E_b/N_0$  untuk *stage* 1, *stage* 2 dan *stage* 3 dari sistem *Alamouti code* 2Tx-1Rx pada SIC ketika nilai BER  $10^{-3}$  adalah  $E_b/N_0$  sebesar 19.82 dB, 16.45 dB dan 11.9 dB. Dari nilai  $E_b/N_0$  terlihat bahwa *stage* 3 kinerjanya lebih baik 7.92 dB dibandingkan *stage* 1.

#### 4.2 Kinerja Sistem Tanpa dan Dengan Alamouti code pada Successive Interference Cancellation (SIC) Tanpa dan Dengan Rayleigh fading

Gambar 7 menunjukkan hasil simulasi perbandingan sistem tanpa dan dengan *Alamouti code* pada SIC. Jumlah pengguna sebanyak 10

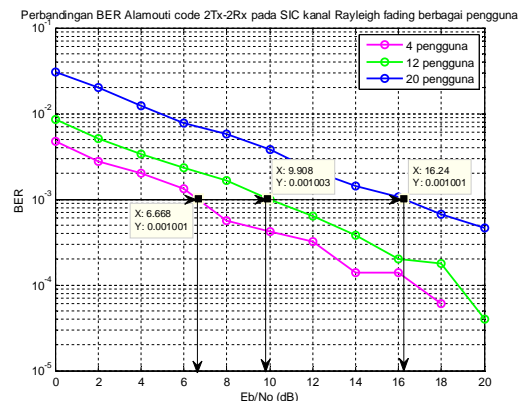
dengan nilai  $E_b/N_0$  0 sampai 20 dB. Simulasi ini dilakukan pengamatan pada *stage* ke-3. Untuk mencapai BER  $10^{-3}$ , sistem *Alamouti code* 2 Tx–Rx, 2Tx-1Rx dan tanpa *Alamouti* kanal Rayleigh fading memerlukan nilai  $E_b/N_0$  sebesar 8,913 dB, 12,25 dB dan 20 dB. Sehingga untuk *Alamouti code* 2 Tx – 2Rx pada SIC lebih baik 3,337 dB dibandingkan *Alamouti code* 2 Tx – 1Rx pada SIC pada kanal Rayleigh fading dan *Alamouti code* 2 Tx – 1Rx pada SIC lebih baik 7,75 dB dibandingkan tanpa *Alamouti code* pada SIC pada kanal Rayleigh fading.



**Gambar 7.** Perbandingan BER tanpa dan dengan Alamouti code pada SIC *stage* 3 tanpa dan dengan rayleigh fading

#### 4.3 Kinerja Alamouti code pada Successive Interference Cancellation (SIC) dengan Berbagai Pengguna

Simulasi ini menunjukkan hasil perbandingan jumlah pengguna aktif sistem *Alamouti code* pada SIC. Jumlah pengguna pada sistem adalah 4 pengguna, 12 pengguna dan 20 pengguna dengan nilai  $E_b/N_0$  0 sampai 20 dB.

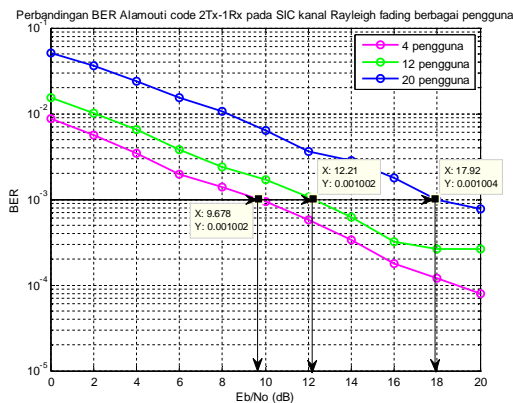


**Gambar 8.** Perbandingan BER Alamouti code 2Tx-2Rx pada SIC kanal Rayleigh Fading berbagai pengguna

Gambar 8 menunjukkan saat nilai BER  $10^{-3}$  maka  $E_b/N_0$  untuk 4 pengguna, 12 pengguna dan 20 pengguna adalah 6.668 dB, 9.908 dB dan



16.24 dB. Sehingga *Alamouti code* 2 Tx – 2Rx pada SIC dengan 4 pengguna lebih baik 9.572 dB dibandingkan 20 pengguna.

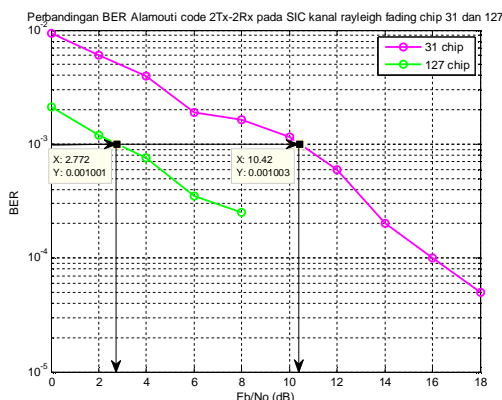


**Gambar 9.** Perbandingan BER *Alamouti code* 2Tx-1Rx pada SIC kanal *Rayleigh Fading* dengan berbagai pengguna

Berdasarkan gambar 9 untuk mencapai BER  $10^{-3}$  maka nilai Eb/No untuk 4 pengguna, 12 pengguna dan 20 pengguna adalah 9.678 dB, 12.21 dB dan 17.92 dB. Sehingga untuk *Alamouti code* 2 Tx – 1Rx pada SIC dengan 4 pengguna lebih baik 8.242 dB dibandingkan 20 pengguna. Sehingga untuk kapasitas user yang semakin besar maka nilai Eb/No-nya harus lebih besar apabila ingin memperoleh BER  $10^{-3}$ .

#### 4.4 Kinerja *Alamouti code* pada *Successive Interference cancellation (SIC)* dengan Berbagai Kondisi Chip

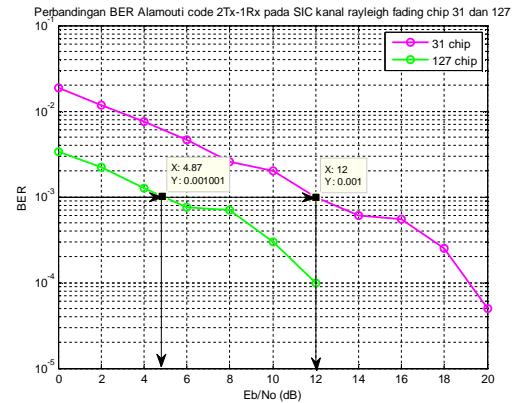
Pada sistem ini digunakan jenis PN code yaitu *gold code*, dengan panjang *m-sequence* sebanyak 5 dan 7. Sehingga panjang *chip* maksimal yang dihasilkan untuk tiap pengguna adalah sebanyak 31 ( $2^n - 1$ , n adalah panjang *m-sequence*) dan 127. Sehingga untuk tiap pengguna didapatkan matrix [1][31] atau [1][127].



**Gambar 10.** Perbandingan BER *Alamouti code* 2Tx-2Rx pada SIC kanal *Rayleigh fading* chip 31 dan 127

Gambar 10 menunjukkan untuk mencapai BER  $10^{-3}$ , sistem *Alamouti code* 2 Tx –

2Rx pada SIC dengan 31 *chip* dan 127 *chip* diperlukan Eb/No sebesar 10.42 dB dan 2.772 dB. Sehingga untuk *Alamouti code* 2 Tx – 2Rx pada SIC dengan *chip* 127 lebih baik 7.648 dB dibandingkan *chip* 31.



**Gambar 11.** Perbandingan BER *Alamouti code* 2Tx-1Rx pada SIC kanal *Rayleigh fading* chip 31 dan 127

Gambar 11 menunjukkan untuk mencapai BER  $10^{-3}$ , sistem *Alamouti code* 2 Tx – 1Rx pada SIC dengan 31 *chip* dan 127 *chip* diperlukan Eb/No sebesar 12 dB dan 4.87 dB. Sehingga untuk *Alamouti code* 2 Tx – 1Rx pada SIC dengan *chip* 127 lebih baik 7.13 dB dibandingkan *chip* 31.

## 5. KESIMPULAN

- Dari hasil kinerja dengan *Alamouti code* stage 1, 2, dan 3
  - Untuk *Alamouti code* 2Tx-2Rx stage 3 memiliki kinerja sistem lebih baik 7.637 dB daripada stage 1.
  - Untuk *Alamouti code* 2Tx-1Rx stage 3 memiliki kinerja sistem lebih baik 7.779 dB daripada stage 1.
- Dari hasil kinerja tanpa dan dengan *Alamouti code* pada SIC dengan *Rayleigh fading*
  - Untuk *Alamouti code* 2Tx-2Rx lebih baik 3,337 dB dibandingkan *Alamouti code* 2 Tx-1Rx.
  - Untuk *Alamouti code* 2Tx-1Rx lebih baik 7,75 dB dibandingkan tanpa *Alamouti code*.
- Dari hasil kinerja *Alamouti code* tanpa dan dengan *Rayleigh fading*
  - Alamouti code* 2Tx-2Rx pada SIC tanpa *Rayleigh fading* lebih baik 4,684 dB dibandingkan dengan *Rayleigh fading*.
  - Alamouti code* 2Tx-1Rx pada SIC tanpa *Rayleigh fading* lebih baik 5,761 dB dibandingkan dengan *Rayleigh fading*.
- Dari hasil kinerja *Alamouti code* dengan berbagai pengguna
  - Untuk *Alamouti code* 2Tx-2Rx pada SIC dengan 4 pengguna lebih baik 8.894 dB dibandingkan 20 pengguna

- b. Untuk *Alamouti code* 2Tx–1Rx pada SIC dengan 4 pengguna lebih baik 9.143 dB dibandingkan 20 pengguna.
- 5. Dari hasil kinerja *Alamouti code* dengan berbagai *chip*
  - a. Untuk *Alamouti code* 2Tx–2Rx pada SIC dengan *chip* 127 lebih baik 4.695 dB dibandingkan *chip* 31
  - b. Untuk *Alamouti code* 2Tx–1Rx pada SIC dengan *chip* 127 lebih baik 5.53 dB dibandingkan *chip* 31.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Meel.J., “*Spread spectrum*”, IWT HOBU Fonds, De Nayer Instituut, October 1999.
- [2] Maria Orbita I, “*Pembuatan Program Simulasi Teknik Power Control dan Multiuser Detection Pada System Komunikasi Bergerak*”, Tugas Akhir 2007, EEPIS-ITS Surabaya, 2007.
- [3] Aasif Dingankar, Anil Kumar, Payal Jain, “*Digital Communications Multiuser Detection For Synchronous CDMA*”, ECPE 5654.
- [4] Pulin Patel, Jack Holtzman : Analysis of a Simple Successive Interference Cancellation Scheme in a DS/CDMA System. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 12(5):796–807, June 1994
- [5] Michael Buehrer, Neiyer S. Correal-Mendoza, dan Brian D. Woerner : A Simulation Comparison of Multiuser Receivers Cellular CDMA. IEEE Journal on Select Areas in Communications, 49(4):1065–1085, July 2000
- [6] Reza Aditya Wardhana, “*Evaluasi Kinerja Diversitas Transmit Berbasiskan Space Time BlockCode (STBC)*”, Tugas Akhir 2007, Sekolah Teknik Elektro dan Informatika Institut Teknologi Bandung, 2007.
- [7] Siavash M. Alamouti. A Simple Transmit Diversity Technique for Wireless Communications. IEEE Journal on Select Areas in Communications, 16(8):1451–1458, October 1998.
- [8] Hamid Jafarkhani. Space-Time Block Coding Wireless Communications: Performance Results. IEEE Journal on Select Areas in Communications, 17(3):451–460, March 1999.
- [9] David Gesbert, Mansoor Shafi, Da-shan Shiu, Peter J. Smith, and Ayman Nagueib. From theory to practice: An overview of mimo space-time coded wireless systems. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 21(3):281–302, 2003.
- [10] Soo Cho.Yong, dkk, MIMO-OFDM Wireless Communication with MATLAB, John Wiley & Sons (Asia) Pte Ltd, 2 Clementi Loop. # 02-01, Singapore, 2010

